

## УСТОЙЧИВОСТЬ УСТАНОВИВШИХСЯ ДВИЖЕНИЙ СПУТНИКА, СТАБИЛИЗИРУЕМОГО ВРАЩЕНИЕМ, С ПАССИВНЫМ АВТОБАЛАНСИРОМ-ДЕМПФЕРОМ УГЛА НУТАЦИИ

Г. Б. Филимонихин, И. И. Филимоникина, В. В. Пирогов

Кировоградский национальный технический университет

*fgb@online.ua, fii@online.ua, vladimir-pirogovvv@rambler.ru*

Кировоград, УКРАИНА

В идеальном случае космический аппарат (КА), стабилизируемый вращением, должен вращаться вокруг своей продольной оси, являющейся главной центральной осью инерции [1-9]. Такое движение будем называть основным, а другие установившиеся движения, в которых КА вращается вокруг не продольной оси – побочными. Из-за неточного придания начального вращения КА возникает угол нутации. Для его устранения используют пассивные демпферы угла нутации. Необходимое условие устойчивости основного движения - вращение КА вокруг оси наибольшего осевого момента инерции (так называемые «устойчивые» КА). В задачах, изучающих демпфирование угла нутации, КА моделируются изолированными механическими системами с вязким внутренним рассеиванием энергии. Со временем движение таких систем устанавливается, после чего они вращаются как одно жесткое целое вокруг неизменного в пространстве вектора кинетического момента системы. Добавление в конструкцию КА подвижных масс изменяет его поведение, у КА появляются дополнительные побочные движения, изменяется область устойчивости основного движения.

В работах [7-9] изучалась возможность использования в качестве демпферов угла нутации пассивных автобалансиоров. Было показано, что один автобалансиор любого типа может устранить угол нутации «устойчивого» КА как от неточного придания начального вращения несущему телу, так и от его статической неуравновешенности, расположенной в плоскости автобалансиора. Было показано, что два автобалансиора даже бесконечно малой массы, расположенные в разных плоскостях, делают основное движение неустойчивым из-за внесения ими динамической неуравновешенности. В работе [9] была показана аналогия в работе маятниковых, шаровых и жидкостных автобалансиоров-демпферов угла нутации и было установлено, что жидкостные автобалансиры-демпферы ведут себя подобно маятниковым и шаровым, причем тем точнее, чем меньше толщина жидкости в сравнении с радиусом кольцевой трубки.

В данной работе аналитически определяются условия зарождения, существования, исчезновения и устойчивости различных установившихся движений изолированной системы, состоящей из вращающегося тела и двух одинаковых математических маятников, насаженных на его продольную ось. При повороте маятников относительно тела на них действуют силы вязкого сопротивления, величина и природа которых несущественна для данной задачи. Такая система, которую будем называть основной, моделирует устранение или увеличение угла нутации КА маятниковыми, шаровыми или жидкостными автобалансирами-демпферами угла нутации при правильной или неправильной их установке на КА.

Поскольку у системы нет элементов, способных накапливать потенциальную энергию, то устойчивость установившихся движений оценивалась по осевому моменту инерции системы относительно оси вращения [8].

Вместе с основной системой рассматривалась вторая система - сравнения, в которой маятники неподвижны относительно несущего тела и занимают положение, соответствующее основному движению. Предполагалось, что пока движение этой системы не установилось, происходит внутреннее вязкое рассеяние энергии (например [1], из-за бесконечно малых деформаций несущего тела или маятников).

Для основной системы получены условия зарождения, существования, устойчивости и исчезновения различных установившихся движений, в зависимости от расстояния  $b$  от центра масс несущего тела до плоскости маятников. Установлено, что при превышении этим расстоянием некоторого предельного значения  $b^*$  даже маятники бесконечно малой массы приведут к потере устойчивости основным движением, несмотря на то, что КА «устойчив» с большим запасом. Установлено, что для устойчивости основного движения маятники в основной системе должны находиться значительно ближе к центру масс несущего тела, чем маятники в системе сравнения. Получены формулы для остаточного угла нутации, как функции параметра  $b$ . Их можно использовать для оценки остаточных углов нутации при неправильной установке на КА маятниковых, шаровых или жидкостных автобаланси́ров-демпферов.

В качестве примера произведена оценка остаточного угла нутации для бразильского спутника SACS-2 с жидкостным демпфером [6]. Показано, что при первоначальных массо-инерционных характеристиках этого спутника он «устойчив», но остаточный угол нутации в зависимости от  $b$  составляет от 1,33 до 2,4 градуса. В окончательном варианте массо-инерционных характеристик спутника остаточный угол нутации отсутствует, и демпфер расположен практически на предельном расстоянии от центра масс спутника.

Проведенные исследования и числовой пример показывают, каким образом и насколько присоединенные тела в виде маятниковых, шаровых или кольцевых демпферов (автобаланси́ров) меняют поведение КА. Необходимо учитывать, что присоединенные тела не только увеличивают число установившихся движений, но и сильно сужают область устойчивости основного движения. Неправильная установка демпфера на КА может привести к неустраняемому остаточному углу нутации даже в случае «устойчивого» с большим запасом КА.

Литература. [1] Рейтер Г. С., Томсон У. Т. Вращательное движение пассивных космических аппаратов. М., 1966. [2] Артюхин Ю. П., Каргу Л. И., Симаев В. Л. Системы управления космических аппаратов, стабилизированных вращением. М., 1979. [3] Попов В. И. Системы ориентации и стабилизации космических аппаратов. М., 1986. [4] Мирер С. А., Сарычев В. А.. Оптимальные параметры спутника, стабилизируемого вращением, с демпфером маятникового типа. Космические исследования. 1997. Т. 35, № 6. [5] Докучаев Л. В., Рабинович Б. И. Анализ возмущенного движения вблизи границы устойчивости вращающегося КА типа Авроральный зонд проекта ИНТЕРБОЛ. Космические исследования. 1999. Т. 37, № 6. [6] Fonseca I. M., Santos M. C. SACS-2 Attitude Control Subsystem. INPE, Vol. 3, Brasil, 2002. [7] Филимонихина И. И., Филимонихин Г. Б. Условия уравнивания автобаланси́рами вращающегося тела в изолированной системе. Прикладная механика. 2007. Т. 43, №11. [8] Горошко О. О., Філімоніхіна І. І. Достатні умови усунення автобаланси́рами кута нутації незрівноваженого обертового тіла в ізольованій системі. Вісник Київського ун-ту. Серія: фізико-матем. науки. 2008. №1. [9] Горошко О. О., Філімоніхіна І. І. Умови стійкості основних рухів чотирьох обертових ізольованих систем. Вісник Київського ун-ту. Серія: фізико-матем. науки. 2008. №3